



Studi Variasi Suhu dan Lama Pemanasan dalam Proses Delignifikasi Selulosa Daun Kelapa sebagai Penguat Kertas Kemasan

Study of Temperature Variations and Heating Duration in the Delignification Process of Coconut Leaf Cellulose as a Reinforcement for Packaging Paper

Ni Komang Ayu Tasia Antarini, Ni Luh Yulianti^{1,*}, I Made Anom Sutrisna Wijaya, Dewa Ayu Septia Difayani, Dewanggi Aiswara Virani

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

ABSTRAK

Daun kelapa berpotensi sebagai sumber selulosa alternatif untuk bahan penguat kertas kemasan. Proses delignifikasi diperlukan untuk menghilangkan lignin sehingga diperoleh selulosa dengan kualitas yang murni, selulosa hasil delignifikasi digunakan sebagai bahan penguat kertas kemasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan lama pemanasan proses delignifikasi selulosa terhadap karakteristik kertas kemasan yang dihasilkan serta menentukan perlakuan yang menghasilkan karakteristik kertas kemasan daur ulang terbaik. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dua faktorial. Faktor pertama yaitu 2 level suhu delignifikasi (S) 85°C dan 100°C, faktor kedua yaitu waktu pemanasan delignifikasi (W) 3 taraf waktu 30, 45 dan 60 menit. Data yang berpengaruh signifikan terhadap parameter dianalisis menggunakan sidik ragam Uji Duncan, penentuan nilai terbaik dari semua parameter menggunakan uji indeks efektivitas dan dibandingkan dengan nilai kontrol menggunakan uji t-test. Pada hasil penelitian menunjukkan variasi suhu dan lama pemanasan memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik kertas kemasan yang dihasilkan. Perlakuan terbaik delignifikasi selulosa suhu pemanasan 85°C dan lama pemanasan 30 menit menunjukkan peningkatan karakteristik kertas kemasan pada semua parameter yang diamati yaitu gramatur 198.57 g/m², ketebalan 0.42 mm, densitas 480.64 kg/m³, kuat tarik 4493.82 kN/m², ketahanan sobek 2.43 N dan *water vapor transmission rate* (WVTR) 43.40 gram/m²/hari.

Kata Kunci: Daun kelapa, delignifikasi, selulosa, suhu pemanasan, waktu pemanasan.

ABSTRACT

Coconut leaves have the potential as an alternative cellulose source for reinforcing material for packaging paper. The delignification process is needed to remove lignin to obtain pure quality cellulose. The delignified cellulose is used as a reinforcing material for packaging paper. This study aims to determine the effect of temperature variations and heating time of the cellulose delignification process on the characteristics of the resulting packaging paper and to determine the treatment that produces the best characteristics of recycled packaging paper. This study used a two-factorial randomized block design. The first factor is 2 levels of delignification temperature (S) 85°C and 100°C, the second factor is the delignification heating time (W) 3 levels of time 30, 45 and 60 minutes. The data obtained were analyzed using analysis of variance. If the treatment has a significant effect on the parameter then the Duncan Test is continued, the determination of the best value of all parameters uses the effectiveness index test and compared with the control value using the t-test. The best treatment of cellulose delignification at a heating temperature of 85°C and a time of 30 minutes showed an increase in the characteristics of packaging paper in all observed parameters compared to the control without the addition of cellulose. Variations in temperature and heating time significantly affected all parameters, namely grammage, thickness, density, tensile strength, tear resistance, WVTR, generate value grammage of 198.57 g/m², thickness of 0.42 mm, density of 480.64 kg/m³, tensile strength of 4493820.20 N/m², tear resistance of 2.43 N and water vapor transmission rate (WVTR) of 43.40 grams/m²/day. It can be concluded that delignified coconut leaves have the potential as a source of cellulose in the manufacture of packaging paper.

*Corresponding author: Ni Luh Yulianti

1. Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia. Email: yulianti@unud.ac.id

Masuk: 09 April 2026;

Direvisi: 05 Mei 2026;

Diterima: 08 Mei 2026;

Terbit: 13 Mei 2026

Keywords: Coconut leaves, delignification, cellulose, heating temperature, heating time

PENDAHULUAN

Kertas dalam jumlah yang besar dan tidak terolah menjadi limbah lingkungan dan menimbulkan berbagai permasalahan. Menurut Saputra & Fauzi, (2022), limbah kertas menjadi penyumbang signifikan dalam sampah nasional menghasilkan 8.1 juta ton limbah kertas dari total 67.8 terus meningkat. Jenis yang banyak terbuang adalah kertas HVS putih yang umum digunakan di perguruan tinggi aktivitas perkuliahan, perkantoran (Cahyani et al., 2025). kertas daur ulang umumnya memiliki kelemahan berupa kekuatan mekanik yang rendah sehingga mudah sobek dan kurang optimal sebagai kemasan (Thaib et al., 2020). Hal ini diperlukan penambahan material penguat yang mampu meningkatkan kualitas dan daya tahan salah satunya adalah selulosa.

Selulosa merupakan komponen utama pada dinding sel tumbuhan yang memiliki sifat penting, seperti kekuatan tarik yang tinggi, ringan, dan mudah terurai secara alami, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan penguat dalam berbagai jenis material (Liyanage et al., 2025). Selain itu, serat selulosa dapat meningkatkan kelenturan, mencegah retak, dan memperpanjang umur material (Syamsu et al., 2012). Diantara beberapa sumber bahan baku yang telah diteliti kandungan selulosa sebagai *filler* diantaranya hasil penelitian Akhmad Nadji Shabiri et al., (2014) ampas tebu memiliki kandungan selulosa 26%-43% , hemiselulosa 17%-23% dan lignin 13%-22%.

Salah satu sumber selulosa yang berpotensi adalah tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L.) khususnya daun kelapa yang sering menjadi limbah setelah dipanen. Di Bali, timbulan sampah mencapai 4.281 ton per hari, dengan sekitar 60% berupa sampah organik, Sementara pura besakih menghasilkan timbulan sampah rata-rata sebesar 5.06 m³ per hari Wijaya & Putra, (2021). Penelitian Padil et al., (2011) menyatakan bahwa di dalam pelepah sawit mengandung Selulosa 34.89%, Hemiselulosa 27.14%, dan Lignin 19.87%. Sehingga limbah daun kelapa memiliki potensi sebagai *filler* untuk ditambahkan pada kertas kemasan daur ulang yang ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti plastik yang sulit terurai.

Upaya mendapatkan selulosa murni harus melalui proses delignifikasi. Hasil penelitian Larasati et al., (2019) menyatakan bahwa perlakuan kimia untuk menghilangkan lignin yang merekatkan serat selulosa sehingga kualitas serat yang diperoleh menjadi lebih murni dan terfokus pada komponen utama penyusunnya. Proses ini dipengaruhi oleh suhu dan lama pemanasan, suhu yang tepat dapat mempercepat pelarutan lignin sementara lama pemanasan menentukan seberapa optimal pemisahan komponen berlangsung. hasil penelitian Tiara & Hardjono, (2024) menunjukkan bahwa penggunaan suhu pemanasan pelepah pisang 60°C dengan waktu pemasakan 30 menit, 45 menit dan 60 menit dengan menambahkan asam asetat 70% dengan Menggunakan waktu pemasakan 35 menit menghasilkan kadar selulosa tertinggi adalah 87%.

Berdasarkan beberapa hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa karakteristik fisik kemasan kertas kemungkinan dipengaruhi oleh dua faktor diatas yaitu suhu dan lama pemanasan. Hingga saat ini penelitian mengenai pengaruh suhu dan lama pemanasan pada proses delignifikasi selulosa dari daun kelapa yang digunakan sebagai bahan penguat kertas kemasan masih sangat terbatas. Sehingga, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan lama pemanasan proses delignifikasi selulosa terhadap karakteristik kertas kemasan yang dihasilkan, menentukan perlakuan yang menghasilkan karakteristik kertas kemasan daur ulang terbaik.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pasca Panen, Analisis pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Gedung Agrokompleks Lt 3 Kampus Sudirman, Universitas Udayana pada bulan Januari 2026 sampai dengan Maret 2026.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah daun kelapa canang (selepan), limbah kertas kantoran HVS putih, natrium hidroksida (NaOH) 5%, akuades (H O) dari UD sabha kimia polivinil alkohol (PVA), hidrogen peroksida (H O) 50%, silika gel, plastik ukuran 1 kg, plastik cetik

ukuran 18.7 x 13, plastik bening berukuran F4. Alat yang digunakan pada penelitian ini gunting, sendok, *cutter*, timbangan analitik (latina digital scale i-500 gram silver), gelas beker 500 ml (Iwakitg32 Pyrex), gelas ukur 500 ml (iwaki measuring cylinder pyrex), kompor (maspion S-301 tungku merah), *thermometer* (foldable probe TP101 hitam taffware), *timer* menggunakan *handphone* samsung A23, corong plastik ukuran 20 cm, ayakan ST BSR, ember plastik 10 liter, jerigen 5 liter putih, spatula ukuran 30 cm, batang pengaduk, blender (2in plastik miyako BL-101 PI), oven (Ecocell MMM Medcenter Einrichtungen GmbH), tabung reaksi, higrometer analog, higrometer digital, timbangan analitik, cetakan kertas kayu ukuran A4, *scraper*, kanebo kuning, spons, plastik bening ukuran F4, pinset, ph meter, mangkuk, *digital thickness caliper*, alat uji mekanik Texture Analyzer TA.X.plus berdasarkan ASTM D638 (*American Standard for Testing and Materials*). Alat yang digunakan untuk mengolah data adalah laptop Acer model Aspire 514 dengan fitur aplikasi SPSS (*statistical package for the social sciences*), microsoft excel.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial, dua faktor perlakuan. Faktor pertama yaitu suhu pemanasan, terdiri dari 2 level suhu, 85°C (S₁), 100°C (S₂). faktor kedua yaitu lama waktu pemanasan, terdiri dari 3 taraf waktu, 30 menit (W₁), 45 menit (W₂) dan 60 menit (W₃). Dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga memperoleh 18 unit percobaan. Data hasil penelitian akan dianalisis dengan sidik ragam (ANOVA) dan apabila pada hasil analisis berpengaruh signifikan (P<0.05) maka dilanjutkan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT). Penentuan perlakuan terbaik dari semua parameter yang diukur dilakukan dengan uji indeks efektivitas (DeGarmo et al., 1984). Hasil perlakuan terbaik kemudian uji t-test membandingkan dengan hasil kontrol.

Pelaksanaan Penelitian

Preparasi Daun Kelapa

Daun kelapa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah canang (selepan). limbah canang dipisahkan dari tulang, kemudian dicuci sampai bersih dan tidak ada kotoran dari daunnya lalu dijemur dibawah sinar matahari hingga kadar air mencapai ±10% setelah itu daun dipotong kecil-kecil.

Proses Delignifikasi Selulosa Daun Kelapa

Proses delignifikasi selulosa dari daun kelapa diawali dengan menimbang bahan baku daun kelapa yang sudah dipotong dan dikeringkan sebanyak 25 gram, NaOH 5% dari total larutan sebanyak 250 ml. larutkan NaOH dengan akuades sebanyak 237.5 ml sampai larut lalu bahan baku daun kelapa dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian diaduk perlahan dengan batang pengaduk hingga larutan dan bahan menyatu. Setelah itu, gelas beker diletakkan di atas *hot plate*. Pada saat gelas beker mulai dipanaskan, waktu awal pemanasan dicatat. Suhu campuran dipantau dengan *thermometer* hingga mencapai kondisi yang telah ditetapkan, yaitu 85°C dan 100 °C sesuai rancangan perlakuan. Ketika suhu yang diinginkan sudah tercapai *timer* diaktifkan sesuai dengan durasi pemanasan yang dibutuhkan, yaitu 30, 45, atau 60 menit dan waktu mulai perlakuan dicatat kembali. Selama pemanasan, campuran diaduk perlahan dengan batang pengaduk agar proses berlangsung merata dan suhu tetap konstan. Setelah durasi perlakuan selesai, gelas beker segera diturunkan dari *hot plate* dan waktu akhir pemanasan dicatat. Campuran kemudian dibiarkan dingin pada suhu ruang sebelum dimasukkan ke dalam jerigen. Padatan serat yang terbentuk dipisahkan melalui penyaringan menggunakan ayakan ST BSR, lalu dicuci hingga air rendaman mencapai ph diantara 6.8-7.1. Residu yang sudah dicuci kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari hingga mencapai kadar air ±10%. setelah itu, dilakukan tahap *bleaching* diawali dengan mengencerkan cairan H₂O 50% menjadi 30% ditambah akuades 18 ml dan menambahkan residu 7 gram lalu diaduk dengan suhu 100 °C dengan durasi waktu ± 20 menit. Setelah proses selesai, residu dicuci hingga air rendaman mencapai ph diantara 6.8-7.1 kemudian disaring dan dikeringkan dibawah sinar matahari hingga mencapai kadar air ±10%.

Proses Pembuatan dan Pencetakan Kertas

Pencetakan kertas diawali dengan penimbangan bahan baku yakni limbah kertas yang sudah di potong kecil-kecil ukurannya sebanyak 5 gram, selulosa kering dari tiap perlakuan sebanyak 0.5 gram, polivinil alkohol (PVA) sebanyak 2.5 gram dan air 500 ml. Bahan utama berupa limbah kertas dihancurkan di dalam mangkuk dengan menambahkan air 200 ml hingga hancur sempurna dan berubah menjadi bubur kertas yang halus. Kertas yang sudah dihancurkan dimasukkan ke dalam blender dengan menambahkan air 300 ml, ditambahkan PVA dan selulosa kering, kemudian blender selama 3 menit agar semua bahan tercampur dengan baik dan menghasilkan *pulp* kertas yang lebih lembut dan menyatu sempurna. *Pulp* kertas yang sudah siap kemudian dituangkan ke dalam cetakan kertas kayu berukuran A4. Permukaan *pulp* kertas diratakan menggunakan *scraper*, spons agar permukaan kertas yang dibentuk menjadi rata. Setelah itu, hasil cetakan dipindahkan ke atas plastik bening berukuran F4.

Parameter yang diamati

Gramatur

Gramatur kertas merupakan indikator yang menunjukkan berat suatu lembar kertas terhadap luas permukaannya. Dapat dihitung menggunakan persamaan 1 (Pertiwi et al., 2017) :

$$\text{Gramatur (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Berat Kertas (g)}}{\text{Luas Permukaan (m}^2\text{)}} \quad [1]$$

Keterangan :

Gramatur (g/m^2) : Berat kertas per satuan luas.

Berat kertas (g) : Massa kertas yang ditimbang.

Luas permukaan (m^2) : Luas lembaran kertas yang diukur.

Ketebalan

Pengujian ketebalan kertas dilakukan untuk menentukan jarak antara dua permukaan lembaran kertas sebagai salah satu parameter mutu fisik kertas, Pengukuran dilakukan menggunakan *digital thickness caliper* dengan tingkat akurasi ± 0.1 mm. Setiap sampel kertas diukur pada 5 titik berbeda untuk memperoleh nilai rata-rata yang mewakili ketebalan keseluruhan lembaran. Pengujian ini mengacu pada standar SNI 14-0435-1998.

Densitas

Pengujian densitas atau rapat massa dilakukan untuk mengetahui rendemen material dari proses pembuatan kertas. Prosedur pengujian mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 14-0702-1989. Perhitungan menggunakan persamaan 2 :

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Gramatur}}{\text{Ketebalan kertas}} \quad [2]$$

Keterangan :

Densitas (ρ) : Kerapatan massa atau *density* (kg/m^3)

Gramatur (g/m^2) : Berat kertas per satuan luas

Ketebalan : Ketebalan kertas (m)

Kuat Tarik (Tensile Strength)

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan alat Texture Analyzer TA.X.plus prosedur pengujian menggunakan standar SNI ISO 1924-2:2016 dengan spesimen untuk pengujian tarik menggunakan panjang pengukuran sebesar 180 mm dengan lebar 15 mm. dapat dihitung dengan persamaan 3 :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [3]$$

Keterangan :

σ : Ketahanan tarik (N/m^2)

F : Gaya tarik maksimum (N)

A : Lebar awal sampel uji (m^2)

Ketahanan Sobek (Tear Strength)

Pengujian ketahanan sobek dilakukan menggunakan Texture Analyzer TA.X.plus dengan jarak bentang antar penjepit sebesar 5 cm dan kecepatan penarikan (*crosshead speed*) sebesar 8.33 mm/s. Sampel kertas dipotong berukuran 3 x 5 cm, kemudian dibuat sobekan awal 3 cm sehingga 2 cm sebagai panjang sobekan yang diuji (Yamauchi & Tanaka, 2002). Sampel kemudian dijepit pada kedua penjepit alat sebesar 1.5 cm, bagian yang belum tersobek ditarik secara konstan oleh pergerakan *crosshead* hingga terjadi sobekan sempurna. Selanjutnya, digunakan untuk menentukan gaya sobek yang dinyatakan dalam newton (N).

Water Vapor Transmission rate (WVTR)

Pengujian WVTR menggunakan metode desikan berdasarkan (ASTM E96-95). Kertas dipotong berbentuk lingkaran berdiameter 2.8 cm lebih besar dari mulut tabung reaksi yang berukuran 1.5 cm. dapat dihitung menggunakan persamaan 4 :

$$WVTR = \frac{mv}{t \times A} \times 24 \quad [4]$$

Keterangan :

mv : Penambahan/pengurangan massa uap air (gram)

t : Periode penimbangan (jam)

A : Luasan kertas yang diuji (m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gramatur

Interaksi variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh yang signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik gramatur kertas kemasan dari delignifikasi selulosa daun kelapa. Setelah dilakukan analisis gramatur, hasil dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata Gramatur (g/m²) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	Gramatur (g/m ²)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	198.57 ^f
	W2 (45 menit)	101.13 ^b
	W3 (60 menit)	125.09 ^{de}
S2 (100°C)	W1 (30 menit)	115.62 ^{cd}
	W2 (45 menit)	111.27 ^{bc}
	W3 (60 menit)	128.78 ^c

Keterangan : huruf yang berbeda dibelakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 1 menyatakan bahwa perlakuan (S1W1) adalah perlakuan yang menghasilkan nilai gramatur tertinggi yaitu sebesar 198.57 g/m² berdasarkan hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan (S1W1) memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai gramatur terendah diperoleh pada kertas yang ditambahkan *filler* selulosa daun kelapa dengan perlakuan suhu pemanasan 85°C dengan waktu pemanasan 45 menit (S1W2) menghasilkan nilai gramatur sebesar 101.13 g/m² perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan suhu pemanasan 100°C dan waktu pemanasan 45 menit (S2W2). Hal ini sejalan dengan penelitian Sutanti et al., (2024) menyatakan bahwa pembuatan kertas dari kertas karton dengan penambahan selulosa dari ampas tebu suhu 60-70°C selama 30 menit menghasilkan nilai gramatur sebesar 148.69 g/m². Hal ini karena, waktu dan suhu pemanasan pada proses pembuatan pulp berperan penting dalam menentukan kualitas serat yang dihasilkan. Peningkatan temperatur pemasakan pulp dengan pelarut NaOH mampu mempercepat proses pelunakan bahan serta mempercepat pelepasan lignin dari serat.

Tabel 2. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	Gramatur (g/m ²)
-----------	---------------------	--------------------	------------------------------

Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	198.57
Kontrol	-	-	79.39

Keterangan : (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test pada tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan suhu 85°C selama 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap gramatur kertas kemasan dibandingkan dengan kontrol. Rata-rata nilai gramatur dengan penambahan *filler* selulosa daun kelapa menghasilkan nilai 198.57 g/m² lebih tinggi jika dibandingkan dengan kertas kemasan kontrol tanpa penambahan *filler* selulosa daun kelapa sebesar 79.39 g/m².

Perbedaan nilai gramatur yang dihasilkan pada setiap perlakuan dipengaruhi oleh variasi suhu dan waktu pemanasan dalam proses delignifikasi selulosa daun kelapa. Suhu pemanasan berperan dalam menentukan tingkat pelunakan bahan serta pemisahan lignin dari serat selulosa. Kondisi ini mempermudah proses pembentukan lembaran kertas dan serat tersusun lebih rapat. Hal ini sejalan dengan penelitian Almiah et al., (2024) menyatakan bahwa peningkatan temperatur pemasakan dapat memperbaiki karakteristik pulp melalui proses pelunakan bahan dan pelepasan lignin, sehingga berpengaruh terhadap sifat fisik kertas.

Ketebalan

Interaksi variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik ketebalan kertas kemasan hasil delignifikasi selulosa daun kelapa. Hasil analisis ketebalan kertas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata ketebalan (mm) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	Ketebalan (mm)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	0.42 ^a
	W2 (45 menit)	0.39 ^{ab}
	W3 (60 menit)	0.37 ^b
S2 (100°C)	W1 (30 menit)	0.35 ^b
	W2 (45 menit)	0.36 ^b
	W3 (60 menit)	0.39 ^{ab}

Keterangan : huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 3 menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) dengan nilai ketebalan sebesar 0.42 mm, berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan S1W2 dan S2W3. Sedangkan nilai ketebalan terendah diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 100°C dan waktu pemanasan 30 menit (S2W1) dengan nilai ketebalan sebesar 0.35 mm memberikan pengaruh tidak berbeda nyata memberikan pengaruh tidak berbeda nyata dengan perlakuan S1W3, S2W2.

Tabel 4. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	Ketebalan (mm)
Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	0.42
Kontrol	-	-	0.32

Keterangan: (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test dilihat pada tabel 4 perlakuan 85°C selama 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap ketebalan kertas kemasan dibandingkan kontrol. Nilai rata-rata ketebalan kertas kemasan pada perlakuan yang ditambahkan selulosa daun kelapa sebesar 0.42 mm lebih tinggi dibandingkan kontrol tanpa penambahan selulosa sebesar 0.32 mm. pengukuran ketebalan kertas sangat dipengaruhi oleh proses pencetakan yang digunakan, pada kertas kontrol tanpa penambahan *filler* selulosa daun kelapa menghasilkan nilai ketebalan yang rendah. Hal itu menyebabkan volume lembaran lebih kecil dan ketebalan kertas relatif rendah jika dibandingkan dengan penambahan selulosa daun kelapa (Apriani, 2016).

Nilai ketebalan berkaitan erat dengan variasi suhu dan waktu pemasakan selama proses delignifikasi selulosa. Perlu diketahui penggunaan suhu dan waktu dapat mempercepat pelarutan lignin, sehingga struktur serat lebih terbuka perubahan tersebut mempengaruhi volume kertas kemasan yang dihasilkan. (Kusuma & Djonaedi, 2025).

Densitas

Interaksi variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik densitas kertas kemasan hasil delignifikasi selulosa daun kelapa. Hasil analisis densitas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai rata-rata densitas (kg/m^3) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	Densitas (kg/m^3)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	480.64 ^a
	W2 (45 menit)	258.36 ^b
	W3 (60 menit)	343.85 ^c
S2 (100°C)	W1 (30 menit)	328.20 ^c
	W2 (45 menit)	312.84 ^c
	W3 (60 menit)	331.38 ^c

Keterangan : huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 85°C waktu pemanasan 30 menit (S1W1) dengan nilai densitas sebesar 480.64 kg/m^3 , berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. sedangkan nilai densitas terendah diperoleh pada kombinasi suhu pemanasan 85°C waktu pemanasan 45 menit (S1W2) dengan nilai densitas sebesar 258.36 kg/m^3 perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Nilai densitas pada penelitian ini berkisar $258.36\text{-}480.64 \text{ kg/m}^3$ lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Sukma Wijaya et al., (2025) menyatakan bahwa pembuatan kertas dari selulosa tongkol jagung dari hasil delignifikasi selama 60 menit menghasilkan nilai densitas $157.50\text{-}173.00 \text{ kg/m}^3$. Hal ini disebabkan oleh perbedaan susunan serat kertas yang dihasilkan. Kerapatan serat yang lebih tinggi akan menghasilkan densitas yang lebih besar, sedangkan susunan serat yang kurang rapat menyebabkan densitas menjadi lebih rendah.

Tabel 6. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	Densitas (kg/m^3)
Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	480.64
Kontrol	-	-	250.21

Keterangan: (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test membandingkan hasil nilai terbaik dengan kontrol dilihat pada tabel 6, hasil uji menunjukkan bahwa perlakuan 85°C selama 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap densitas kertas kemasan dibandingkan dengan kontrol. Hal ini ditunjukkan dengan nilai rata-rata densitas pada penambahan selulosa sebesar 480.64 kg/m^3 lebih tinggi dibandingkan kontrol sebesar 250.21 kg/m^3 . Nilai kontrol relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai perlakuan delignifikasi selulosa daun kelapa karena kertas kemasan hanya tersusun dari bahan dasar kertas tanpa selulosa daun kelapa tambahan, suhu pemanasan dan waktu pemanasan, sehingga rongga di dalam lembaran kertas relatif lebih besar.

Nilai densitas dipengaruhi oleh struktur serat, tingkat pemadatan, serta proses pemanasan dan pembentukan lembaran. Semakin rapat susunan serat, maka densitas kertas yang dihasilkan akan semakin tinggi (Tiara & Hardjono, 2024). Hal ini sejalan dengan penelitian Khadafi et al., (2025) menyatakan bahwa proses pemanasan mempengaruhi kerapatan struktur kertas, di mana peningkatan suhu dan waktu pemanasan selulosa daun kelapa mempercepat pelarutan lignin dan menyebabkan perubahan struktur serat. Apabila proses ini berlangsung terlalu lama, porositas kertas dapat meningkat sehingga densitas kertas menurun.

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Interaksi variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik kuat tarik kemasan kertas hasil delignifikasi selulosa daun kelapa. Hasil analisis kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai rata-rata kuat tarik (kN/m^2) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	Kuat Tarik (kN/m^2)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	4493.82 ^c
	W2 (45 menit)	3576.20 ^b
	W3 (60 menit)	3658.50 ^b
S2 (100°C)	W1 (30 menit)	3639.84 ^b
	W2 (45 menit)	2310.60 ^a
	W3 (60 menit)	2174.42 ^a

Keterangan : huruf yang berbeda pada nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 7 menunjukkan bahwa Perlakuan (S1W1) adalah perlakuan yang menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi yaitu sebesar 4493.82 kN/m^2 dan berdasarkan hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan (S1W1) memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai kuat tarik terendah diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 100°C dan waktu pemanasan 60 menit (S2W3) yaitu sebesar 2174.42 kN/m^2 memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan suhu pemanasan 100°C dan waktu pemanasan 45 menit (S2W2).

Tabel 8. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	Kuat Tarik (kN/m^2)
Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	4493.82
Kontrol	-	-	2129.76

Keterangan : (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test pada tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 85°C selama 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap kuat tarik kertas kemasan jika dibandingkan dengan kontrol. Nilai rata-rata yang dihasilkan pada penambahan selulosa daun kelapa sebesar 4493.82 kN/m^2 sedangkan nilai kontrol jauh lebih rendah sebesar 2129.76 kN/m^2 . Perbedaan ini menunjukkan bahwa selulosa daun kelapa berperan dalam meningkatkan ketahanan mekanik kertas, sehingga lembaran kertas yang dihasilkan memiliki daya tahan terhadap gaya tarik yang lebih baik dibandingkan kertas kontrol. Rendahnya nilai kuat tarik pada kontrol disebabkan karena struktur lembaran hanya tersusun dari bahan dasar kertas, sehingga ikatan antar komponen penyusunnya kurang kuat.

Hal ini sejalan dengan penelitian Wijatmoko, (2018) ketahanan tarik kertas dipengaruhi oleh tingkat homogenitas perekat dan pulp. Molekul selulosa berbentuk linier dan membentuk ikatan hidrogen, baik dalam satu rantai polimer maupun antar rantai polimer yang saling berikatan. Ikatan hidrogen tersebut menyebabkan rantai selulosa tersusun rapat dan membentuk struktur berukuran besar serta stabil. Struktur ini berperan dalam menghasilkan kekuatan tarik selulosa yang tinggi (Fenny et al., 2016).

Ketahanan Sobek (*Tear Strength*)

Interaksi perlakuan antara variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik ketahanan sobek kemasan kertas hasil delignifikasi selulosa daun kelapa. Hasil analisis ketahanan sobek dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai rata-rata ketahanan sobek (N) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	Ketahanan Sobek (N)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	2.43 ^a
	W2 (45 menit)	1.86 ^b
	W3 (60 menit)	1.90 ^b

S2 (100°C)	W1 (30 menit)	1.93 ^b
	W2 (45 menit)	1.87 ^b
	W3 (60 menit)	2.02 ^b

Keterangan : huruf yang berbeda pada nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 9 menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) yaitu sebesar 2.43 N. berdasarkan hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan (S1W1) memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Nilai ketahanan sobek terendah diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 45 menit (S1W2) yaitu sebesar 1.86 N memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata.

Tabel 10. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	Ketahanan Sobek (N)
Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	2.43
Kontrol	-	-	1.54

Keterangan: (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test pada tabel 10 menunjukkan perlakuan suhu pemanasan 85°C selama 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap ketahanan sobek kertas dibandingkan kontrol. Nilai rata-rata pada perlakuan hasil penambahan selulosa daun kelapa sebesar 2.43 N lebih besar jika dibandingkan dengan kontrol sebesar 1.54 N. Hal ini disebabkan karena kontrol hanya berupa kertas tanpa penambahan selulosa, sedangkan pada kertas dengan penambahan selulosa menghasilkan serat dengan kandungan lignin lebih rendah dan struktur kertas lebih lentur (Ardiani et al., 2023), Sehingga terbentuknya ikatan antar serat yang lebih kuat.

Hal ini sejalan dengan Paskawati et al., (2011) menyatakan bahwa kekuatan kertas dipengaruhi oleh kekuatan serat, ikatan antar serat, serta panjang serat penyusunnya. Serat yang lebih panjang akan meningkatkan sifat fisik kertas, seperti ketahanan sobek, kekuatan tarik, ketahanan retak, dan ketahanan lipat.

Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Interaksi antara variasi suhu pemanasan dan variasi waktu pemanasan memberikan pengaruh signifikan ($P < 0.05$) terhadap karakteristik *water vapor transmission rate* (WVTR) kertas kemasan. Hasil analisis WVTR dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Nilai rata – rata *water vapor transmission rate* (WVTR) (gram/m²/hari) kertas kemasan

Suhu Pemanasan (S)	Waktu Pemanasan (W)	WVTR (gram/m ² /hari)
S1 (85°C)	W1 (30 menit)	43.40 ^a
	W2 (45 menit)	45.29 ^a
	W3 (60 menit)	45.29 ^a
S2 (100°C)	W1 (30 menit)	79.26 ^c
	W2 (45 menit)	45.29 ^b
	W3 (60 menit)	45.29 ^b

Keterangan : huruf yang berbeda di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0.05$)

Hasil pada tabel 11 menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 100°C dan waktu pemanasan 30 menit (S2W1) yaitu sebesar 79.26 gram/m²/hari. berdasarkan hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), perlakuan (S2W1) memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan *water vapor transmission rate* (WVTR) terendah diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W3) yaitu sebesar 43.40 gram/m²/hari

perlakuan tersebut memberikan pengaruh tidak berbeda nyata dengan perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 45 menit (S1W2) serta perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 60 menit (S1W3).

Tabel 12. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol

Perlakuan	Waktu Pemanasan (L)	Suhu Pemanasan (S)	WVTR gram/m ² /hari
Perlakuan suhu dan waktu	30 menit	85°C	43.40
Kontrol	-	-	107.57

Keterangan: (-) tidak ada perlakuan

Hasil uji t-test untuk membandingkan dari hasil nilai terbaik dengan nilai kontrol dapat dilihat tabel 12, hasil uji menunjukkan bahwa perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai WVTR dibandingkan kontrol. Nilai WVTR pada perlakuan delignifikasi selulosa sebesar 43.40 gram/m²/hari lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kontrol sebesar 30.84 gram/m²/hari. Hal ini menunjukkan bahwa kertas tanpa penambahan selulosa daun kelapa lebih mudah ditembus uap air, Struktur lembaran kertas kontrol cenderung lebih renggang, sehingga uap air lebih cepat menembus kertas. Sebaliknya, pada kertas perlakuan delignifikasi penambahan selulosa membuat struktur kertas menjadi lebih rapat sehingga perpindahan uap air terhambat dan nilai WVTR rendah.

Nilai laju transmisi uap air yang lebih rendah menunjukkan meningkatnya sifat penghalang uap air akibat terbentuknya struktur kertas yang lebih kompak, mampu mengurangi porositas perpindahan molekul uap air melalui matriks kertas (Fisher et al., 2026). Menurut penelitian Abenghal et al., (2025) laju transmisi uap air (WVTR) kertas berbasis pulp kraft murni sebesar 176.1 g/m²/hari kemudian menurun menjadi 73.2 g/m²/hari setelah penambahan 80% filamen selulosa. Penurunan tersebut disebabkan oleh terbentuknya jaringan ikatan fisik antar serat yang semakin rapat, sehingga menghambat difusi uap air melalui kertas.

Perlakuan Terbaik

Penentuan perlakuan terbaik menggunakan metode indeks efektivitas dalam menghasilkan kertas kemasan dari hasil delignifikasi selulosa daun kelapa. Penentuan bobot masing-masing parameter dilakukan berdasarkan penilaian oleh para ahli. Parameter yang diamati pada pengujian ini yaitu, gramatur, ketebalan, densitas, kuat tarik (*tensile strength*), ketahanan sobek (*tear strength*) dan *Water Vapor Transmission Rate* (WVTR). Hasil uji indeks efektivitas kertas kemasan dari selulosa limbah daun kelapa dapat dilihat pada Tabel 13.

Perlakuan terbaik ditunjukkan dengan jumlah nilai hasil (Nh) tertinggi. Data pada Tabel 13 menunjukkan perlakuan terbaik untuk menghasilkan kertas kemasan dari selulosa daun kelapa adalah perlakuan (S1W1), dengan hasil perlakuan suhu 85°C dan waktu 30 menit.

Tabel 13. Data hasil pengujian indeks efektivitas untuk menentukan nilai terbaik

Perlakuan	Parameter							Jumlah
	Gramatur	Ketebalan	Densitas	Kuat tarik	Ketahanan sobek	WVTR		
BV	0.65	0.50	0.80	1.50	1.45	1.10		
	0.11	0.08	0.13	0.25	0.24	0.18		
S1W1	Ne	1	1	0.97	0.73	0.87		
	Nh	0.08	0.08	0.09	0.24	0.18	0.16	0.84
S1W1	Ne	1	0.87	1	0.96	1	1	
	Nh	0.11	0.07	0.13	0.24	0.24	0.18	0.98

S1W1	Ne	1	1	1	1	0.84	0.87	
	Nh	0.11	0.08	0.12	0.25	0.20	0.16	0.93
S1W2	Ne	0.03	0.96	0.00	0.52	0.04	0.75	
	Nh	0.00	0.08	0.00	0.13	0.01	0.14	0.36
S1W2	Ne	0.00	0.50	0.08	0.70	0.19	1	
	Nh	0.00	0.04	0.01	0.17	0.05	0.18	0.46
S1W2	Ne	0.00	0.70	0.03	0.59	0.00	0.87	
	Nh	0.00	0.06	0.00	0.15	0.00	0.16	0.37
S1W3	Ne	0.09	0.00	0.34	0.79	0.19	0.75	
	Nh	0.01	0.00	0.04	0.20	0.05	0.14	0.44
S1W3	Ne	0.36	0.76	0.39	0.50	0.12	0.87	
	Nh	0.04	0.06	0.05	0.12	0.03	0.16	0.47
S1W3	Ne	0.25	0.46	0.36	0.62	0.10	1	
	Nh	0.03	0.04	0.05	0.16	0.02	0.18	0.48
S2W1	Ne	0.06	0.22	0.00	0.70	0.11	0.25	
	Nh	0.01	0.02	0.03	0.17	0.03	0.05	0.30
S2W1	Ne	0.14	0.24	0.32	0.62	0.37	0.12	
	Nh	0.02	0.02	0.04	0.16	0.09	0.02	0.35
S2W1	Ne	0.23	0.39	0.37	0.57	0.05	0.00	
	Nh	0.03	0.03	0.05	0.14	0.01	0.00	0.26
S2W2	Ne	0.11	0.61	0.17	0.06	0.12	0.75	
	Nh	0.01	0.05	0.02	0.02	0.03	0.14	0.27
S2W2	Ne	0.12	0.11	0.33	0.12	0.08	0.63	
	Nh	0.01	0.01	0.04	0.03	0.02	0.11	0.23
S2W2	Ne	0.08	0.28	0.23	0.09	0.10	0.50	
	Nh	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.09	0.20
S2W3	Ne	0.22	0.54	0.31	0.08	0.16	0.63	
	Nh	0.02	0.05	0.04	0.02	0.04	0.11	0.28
S2W3	Ne	0.28	0.65	0.33	0.00	0.40	0.63	
	Nh	0.03	0.05	0.04	0.00	0.10	0.11	0.34
S2W3	Ne	0.30	0.85	0.30	0.03	0.35	0.75	0.56
	Nh	0.03	0.07	0.04	0.01	0.08	0.14	0.37

Tabel 13 menunjukkan bahwa nilai terbaik dilihat dari nilai (NH) tertinggi, diatas diperoleh nilai tertinggi pada perlakuan proses delignifikasi selulosa daun kelapa dengan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1). Nilai tertinggi diperoleh dari parameter gramatur dengan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) diperoleh nilai gramatur sebesar 198.57 g/m², nilai ketebalan tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) dengan nilai ketebalan sebesar 0.42 mm, nilai densitas tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 85°C waktu pemanasan 30 menit (S1W1) dengan nilai densitas sebesar 480.64 kg/m³, nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) sebesar 4493.82 kN/m², nilai ketahanan sobek tertinggi

diperoleh pada perlakuan suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) yaitu sebesar 2.43 N dan nilai *water vapor transmission rate* (WVTR) semakin rendah semakin baik pada suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit (S1W1) diperoleh nilai sebesar 43.40 gram/m²/hari. Nilai terendah berada pada perlakuan suhu 100°C dan waktu 45 menit (S2W2) dengan nilai (NH) sebesar 0.20.

KESIMPULAN

Perlakuan variasi suhu dan waktu pemanasan proses delignifikasi selulosa daun kelapa pada karakteristik kertas kemasan memberikan pengaruh signifikan terhadap gramatur, ketebalan, densitas, kuat tarik, ketahanan sobek dan *water vapor transmission rate* (WVTR). Perlakuan variasi suhu pemanasan 85°C dan waktu pemanasan 30 menit menghasilkan karakteristik kertas kemasan daur ulang terbaik dengan nilai gramatur 198.57 g/m², nilai ketebalan sebesar 0.42 mm, nilai densitas sebesar 480.64 kg/m³, nilai kuat tarik sebesar 4493.82 kN/m², nilai ketahanan sobek sebesar 2.43 N dan nilai *water vapor transmission rate* (WVTR) sebesar 43.40 gram/m²/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Abenghal, L., Bley, J., Tolnai, B., Njamen, G., & Chabot, B. (2025). *Development of a new sustainable packaging paper based on cellulose filaments and refined kraft pulp*. *Future Foods*, 11(October 2024), 100540. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100540>
- Almiah, T., Wijayanti, R., & Anggia, M. (2024). Pembuatan Kertas Seni dari Kertas Bekas dengan Berbagai Varian Warna yang Berbeda. *8*(2), 83–89.
- Apriani, E. (2016). Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Lama Waktu Pemasakan terhadap Kekuatan Tarik pada Pembuatan Kertas Seni dari Limbah Batang Jagung dan Kertas Bekas. *Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, 1(2), 38–42. <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>
- Ardiani, S., Suryani, M., & Akmalia, N. (2023). Analisis Peningkatan Ketahanan Sobek pada Karton Ivory Laminasi Doff dan Laminasi Glossy. *Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 9, 130–139. <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/sciencetech/%0AAalisis>
- Cahyani, A. P. R., Sandi, F. P., & Santi, S. S. (2025). Kajian Pengaruh PH dan Berat Kertas Terhadap Sintesis dan Karakteristik Silika Fiber dari Limbah Kertas HVS dan Kardus dengan Metode Sol Gel. *Jurnal Fisika Unand*, 14(5), 428–434. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.5.428-434.2025>
- DeGarmo, E. P., Sullivan, W. G., & Canada, J. R. (1984). *Engineering Economy*. 7th edition.
- Fenny, F. O., Farma, W., & Fitriyano, G. (2016). Pengaruh Rasio Berat Kulit Pisang dengan Kertas Koran dan Batang Jagung dengan Kertas Koran Terhadap Indeks Tarik dan Indeks Sobek Kertas Recycle. *November 2016*, 1–7.
- Fisher, S. G., Buck, Z., Karim, M. J., & Grunlan, J. C. (2026). *Fish-Based Biopolymer Complex Coacervate Coating for Improved Paper Oxygen and Water Barrier*. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.5c02091>
- International, A. (1995). *ASTM E96-95: Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials* (Vol. 552).
- Khadafi, M., Desyanti., Fakhruzy. (2025). Perbandingan Sifat Fisis Kertas dari Pulp Berbahan Batang Pisang (*Musa paradisiaca*) Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Rumbia (*Metroxylon sagu*). *9*(1), 457–466.
- Kusuma, F., & Djonaedi, E. (2025). Pengaruh Urutan Pencetakan Kertas terhadap Karakteristik Kertas Komposit Berbasis Ampas Tebu Dengan Metode Screen Printing. *SEMINAR NASIONAL INOVASI VOKASI*, 4(1), 707–714.
- Larasati, I. A., Argo, B. D., & Hawa, L. C. (2019). Proses Delignifikasi Kandungan Lignoselulosa Serbuk Bambu Betung dengan Variasi NaOH dan Tekanan. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 7(3), 235–244. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2019.007.03.03>
- Liyanage, C., Gunasekara, C., Law, D. W., & Setunge, S. (2025). *Textile-cellulose as a secondary modifier in graphene and SCM-based cement paste*. *Journal of Building Engineering*, 113(July), 114169. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.114169>

- Padil, Yelminda, A.Candra, M. (2011). Optimasi Hidrolisis Tandan Kosong Sawit dengan Ekstrak Abu TKS Menggunakan Rancangan Percobaan *Response Surface Methode*. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 10(1), 42–46.
- Paskawati, Y. A., Susyana, Antaresti, & Retnoningtyas, E. S. (2011). Pemanfaatan Sabut Kelapa sebagai Bahan Baku Pembuatan Kertas Komposit Alternatif. *Jurnal Widya Teknik*, 9, 12–21.
- Pertiwi, Y. E., Kurniasih, E., Fauzan, R., & Riskina, S. (2017). Pembuatan Kertas Dari Selulosa Mikrobial Nata De Coco Dengan Metode Organosolv. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 15(2), 1–5. <https://doi.org/10.30811/jstr.v15i2.1480>
- Saputra, A. Z., & Fauzi, A. S. (2022). Pengolahan Sampah Kertas Menjadi Bahan Baku Industri Kertas bisa Mengurangi Sampah di Indonesia. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(1), 41–52. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i1.17522>
- Shabiri, A. N., Ritonga, R. S., & Ginting, M. H. S. (2014). Pengaruh Rasio Epoksi/Ampas Tebu dan Perlakuan Alkali pada Ampas Tebu Terhadap Kekuatan Bentur Komposit Partikel Epoksi Berpengisi Serat Ampas Tebu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(3), 28–31. <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i3.1638>
- Sutanti, S., Oktaviananda, C., Utami Handhayani, E. T., & Selin Orxellina, E. (2024). Pembuatan Kertas Seni Dari Kombinasi Limbah Serbuk Kayu Sengon dan Ampas Tebu dengan *Sizing Agent Carboxy Methyl Cellulose* (CMC) Menggunakan Metode Soda Pulping. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 8(2), 98–105. <https://doi.org/https://doi.org/10.32493/jitk.v8i2.41252>
- Syamsu, K., Puspitasari, R., & Roliadi, H. (2012). Penggunaan Selulosa Mikrobial dari Nata De Cassava dan Sabut Kelapa Sebagai Pensubstitusi Selulosa Kayu Dalam Pembuatan Kertas. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia*, 1(2), 118–125.
- Thaib, C. M., Gultom, E., & Aritonang, B. (2020). Pembuatan Kertas dari Limbah Kulit Durian dan Ampas Tebu dengan Perbedaan Konsentrasi NaOH. *Jurnal Kimia Saintek Dan Pendidikan*, 4(1), 1–11.
- Tiara, greenastya febranis, & Hardjono. (2024). Pengaruh Waktu Pemanasan Terhadap Karakteristik Pulp dari Pelepah Pisang dengan Menggunakan Metode Acetosolv. 10(9), 791–797.
- Wijatmoko jungkang. (2018). Pengembangan Material Kertas Daur Ulang dengan Sabut Kelapa terhadap Beberapa Pengujian dengan Variasi Konsentrasi NaOH 2%, 4%, 6% Dan 8%. Surakarta, Indonesia: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Wijaya, I. M. W., & Putra, I. K. A. (2021). Potensi Daur Ulang Sampah Upacara Adat di Pulau Bali. *Jurnal ECOCENTRISM*, 1(1), 1–8.
- Yamauchi, T., & Tanaka, A. (2002). *Tearing test for paper using a tensile tester*. *Journal of Wood Science*, 48(6), 532–535. <https://doi.org/10.1007/BF00766652>